

基于 BIM+GIS 的日照模拟在高架工程中的应用

吴军伟

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 随着社会的不断进步,人们对居住舒适度要求越来越高。周边建筑对室内采光遮挡是影响居住舒适度的重要因素。通过研究日照的基本原理,分析了影响日照的主要因素。基于 Unity 进行了相关日照模拟功能的开发;结合实际高架工程项目,通过 BIM 建模、倾斜摄影航拍模拟实际的三维空间场景,在 Unity 中进行最不利情况日照模拟,最后定量分析设计高架桥梁对居民楼的影响,为高架设计方案优化提供有效指导,填补了高架工程领域日照分析模拟的空白,具有较强的实际应用价值。

关键词: 高架工程;日照模拟;Unity;BIM;GIS

中图分类号: U448.28

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)06-0289-04

0 引言

随着社会生活水平的提高和经济水平的不断进步,人们对居住舒适度的要求越来越高。室内的采光是人们对住宅舒适度评价的重要指标。目前日照分析技术在建筑设计中应用较为普遍,高架类设计项目,如高架桥梁在进行方案设计时,往往也需要考虑项目建成后对现状居民楼采光的影响。建筑采光主要受到地理位置、所处时间和周边环境等的影响。如何准确模拟光照参数及还原三维空间场景,对光照分析的准确性影响很大。目前高架工程对周边建筑采光的案例分析还比较少,在准确模拟光照参数的前提下,需要借助 BIM 技术和 GIS 技术才能准确评价其影响。

1 研究现状

国内外关于日照分析模拟的研究应用主要还是集中于绿色建筑节能分析领域。在国外,2013年,Kam-din Wong、Qing Fan^[1]就进行了大量调研和分析,发现 BIM 技术在可持续建筑方面应用很广泛,可通过建立不同方案的 BIM 模型并进行方案比选,选择出最优的方案来优化建筑的绿色节能性能。2017年,Yaik-Wah Lim^[2]在研究马来西亚气候条件对建筑设计影响时,也引入了 BIM 技术,通过在

BIM 模型中准确模拟建筑几何尺寸和材料信息,从概念到施工图设计,都可以辅助进行节能设计模拟和优化。在国内,何波^[3]在进行绿建性能分析时,采用了 BIM 技术,通过对项目景观、日照、噪声和风环境进行建模和仿真,大大提升了分析的效率和准确性。王杉杉^[4]总结了 BIM 技术在建筑设计、施工和运维阶段节能减排方面的应用,将 BIM 的技术特点和绿色建筑要求进行结合。在高架领域,在进行方案设计时往往也需要对周边建筑影响进行分析,但是关于日照节能设计方面分析的案例少之又少,并没有形成成熟的技术方案,亟待去解决并应用到实际项目设计当中。

2 日照分析基本原理

本文从日照分析基本原理入手,对影响日照的相关参数进行分析,建立日照模拟数学模型,从而为精确模拟日照提供理论支撑。通过文献调研,日照情况主要受太阳高度角、时角、赤纬影响。

2.1 太阳高度角^[5]

太阳高度角(solar elevation angle),地理学术语,是指对地球上的某个地点太阳光入射方向和地平面的夹角。太阳高度角受地球经纬度、积日、当地时间影响。

专业上讲,太阳高度角是指某地太阳光线与通过该地与地心相连的地表切面的夹角。当太阳高度角为 90°时,太阳辐射强度最大;太阳斜射地面程度越大(即太阳高度角越小),太阳辐射强度就越小。

收稿日期: 2023-11-23

作者简介: 吴军伟(1981—),男,博士,高级工程师,从事市政交通数字化工作。

太阳高度角可用下列公式来表示:

$$\sin\theta_s = \cos h \cos\delta \cos\Phi + \sin\delta \sin\Phi$$

即

$$\theta_s = \text{asin}(\cos h \cos\delta \cos\Phi + \sin\delta \sin\Phi)$$

式中: θ_s 为太阳高度角; h 为时角; δ 为赤纬; Φ 为纬度,在后面计算中,北半球为正,南半球为负。

2.2 时角

一个天体的时角被定义为该天体的赤经与当地的恒星时的差值。在天文学和天文航海中,时角是在赤道坐标系中用于给出天球上点的方向的坐标之一。一个点的时角是两个平面之间的角度:一个平面包含地轴和天顶(子午面),另一个平面是穿过该点与极点(地轴)的球面大圆切圆所形成的平面(赤经圈)。如图 1 所示,时角由天赤道平面上的橙色箭头指示。箭头自天球天赤道的子午面至观测目标所在面的球面大圆处结束,该球面大圆也是赤经圈。时角由子午线确定,遵循的规则是在子午线的东边为负时角,在子午线的西边为正时角,或者向西为正的 360°,时角与经度的换算方法为 $24\text{ h} = 360^\circ$ 。

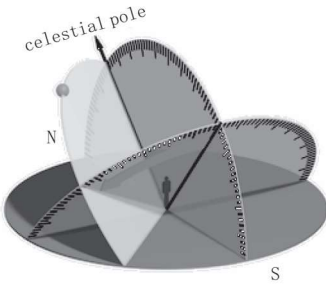


图 1 时角定义

以北京时间为例,其中央子午线对应经度为 120°E,那么 90°E 对应的时角为 -30°,150°E 对应的时角为 30°。北京时间下的时角计算公式如下:

$$h = 15 \times \left(t + \frac{\Lambda - 120^\circ}{15} - 12 \right)$$

式中: Λ 为经度。

2.3 赤纬

赤纬(declination)是天文学中赤道坐标系中的两个坐标数据之一。赤纬与地球上的纬度相似,是纬度在天球上的投影。太阳的赤纬等于太阳入射光与地球赤道之间的角度。由于地球自转轴与公转平面之间的角度基本不变,因此太阳的赤纬随季节不同而有周期性变化。变化的周期等于地球的公转周期,即 1 a。

太阳赤纬的最高度数为 23°26'。夏至时,太阳的赤纬为 +23°26'。冬至时,太阳的赤纬为 -23°26'。春分和秋分时,太阳的赤纬为 0°。由于地球公转轨道的

偏心率非常低,可以看作一个圆圈。太阳赤纬可用下面的公式来计算:

$$\delta = -23.44^\circ \cos \left[\frac{360^\circ}{365} (N + 10) \right]$$

式中: N 为积日,即一年中的第几天,如 1 月 1 日时, $N=1$ 。

2.4 太阳辐射强度^[6]

太阳辐射强度是指太阳辐射在单位面积上的能量,它是影响地球气候和生态环境的重要因素之一。太阳高度角与太阳辐射强度之间存在着密切的关系,太阳辐射角越高,其辐射强度越大。太阳辐射强度可以用简单的公式来表示:

$$I = \text{太阳辐射常数} \cdot \sin\theta_s$$

式中: I 为太阳辐射强度,太阳辐射常数约为 1 367 W/m²。

3 主要技术路线

基于以上原理,同步进行 BIM 建模和 GIS 建模的工作。在 Unity 中将 BIM 和 GIS 模型进行整合,并通过 Unity 自带的光照系统模拟日照的相关参数。日照模拟整体技术路线如图 2 所示。

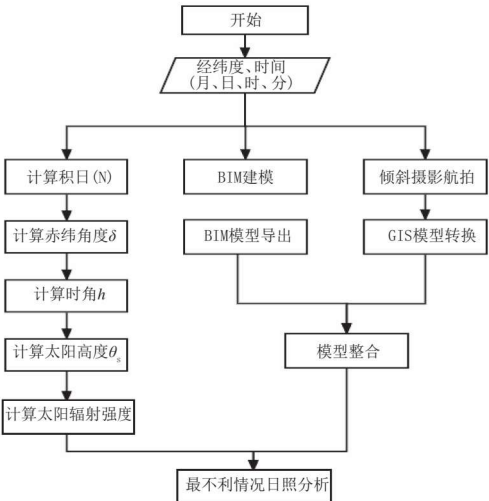


图 2 技术路线

3.1 日照模拟

在 Unity 中,太阳光通常通过平行光模拟。通过设置太阳光绕 X、Y、Z 轴的角度来模拟日照的角度,通过设置光照强度来模拟太阳的辐射强度。通过前面的基本原理,可以得到赤纬、时角、太阳高度和辐射强度等参数。在 Unity 世界坐标系中,X 轴对应正东方向,Z 轴对应正北方向,Y 轴对应垂直方向。光照本身有局部坐标系,其局部坐标 Z 方向对应光照方向。具体日照模拟实现步骤如下:

(1)令光照初始局部坐标轴与世界坐标轴完全

一致,为 XYZ 。

(2)根据当前日期确定积日,计算太阳赤纬 δ 。

(3)将太阳光照绕 X 轴旋转 $[90^\circ - (\Phi - \delta)]$,得到新的局部坐标系 $X'Y'Z'$ 。

(4)根据当前所处时间(时、分)和所处位置经度 Λ 计算太阳时角 h 。

(5)将局部坐标系 $X'Y'Z'$ 绕 Y' 轴旋转角度 h ,得到实际的光照坐标轴 $X''Y''Z''$ 。

(6)根据当前时角 h 、赤纬 δ 和纬度 Φ 计算太阳高度角 θ_s 。

(7)根据 θ_s 计算太阳辐射强度,并设置太阳光照强度。

3.2 BIM建模

BIM建模主要是对设计方案进行精确三维几何空间建模,为日照分析提供基础数据。常用的高架建模BIM软件有Revit、Bentley、CATIA,以及国产软件鸿业路路等。在完成BIM建模后,可导出fbx格式,为下一阶段的模型集成作准备。

3.3 倾斜摄影技术

一般现状环境包含地形、既有建筑、绿化等元素。往往采用无人机航拍的方式形成倾斜摄影模型来精确模拟现状环境。无人机在高空飞行过程中,通过搭载的多台传感器同时从一个垂直、四个倾斜共五个不同的角度采集影像,并将采集到的影像通过三维重构技术以瓦片数据的形式进行存储。它不仅能够真实反映地物情况,高精度地获取地面纹理信息,还可通过定位、融合、建模等技术生成真实的三维城市模型。倾斜摄影模型格式一般为osgb格式,在与BIM模型进行集成时会有一定的困难,因此需要进行格式转换。可通过一些转换格式软件如OsgbLab将osgb格式转换成fbx格式。由于转换成fbx格式后,就无法进行模型LOD加载,而转换后倾斜摄影模型数据量一般很大,在模型加载效率上会降低。在进行日照影响分析时,可仅加载敏感点位置附近的倾斜摄影模型。这样既保证模拟的准确性,又能够降低GIS模型的体量,提升模型加载速率。

3.4 模型整合

在BIM和GIS模型均转换为fbx格式后,可进行模型的整合。本文直接将模型导入到Unity游戏引擎中,以供后续的日照分析使用。然而,值得注意的是,模型整合是一个复杂的过程,其中包括多个关键要素的处理。其中之一是确保BIM和GIS模型在整合过程中处于相同的坐标系。

在进行整合时,以BIM模型坐标系为基础坐标系,对倾斜摄影进行坐标变换。本项目中BIM模型和倾斜摄影模型都以无锡2000坐标系作为参考坐标,只是模型坐标原点不同。因此,根据两者坐标原点的差值作为偏移值叠加到倾斜摄影坐标上,就可以实现BIM模型和倾斜摄影的精确整合。

4 实际项目案例分析

某高架设计项目经过某商场附近居民楼。由于该节点位置设计高架线位相对于旧线位整体西移,与该位置一处居民楼位置较近,设计高架可能会对该居民楼日照采光产生影响,具体平面如图3所示,需要进行日照模拟分析。

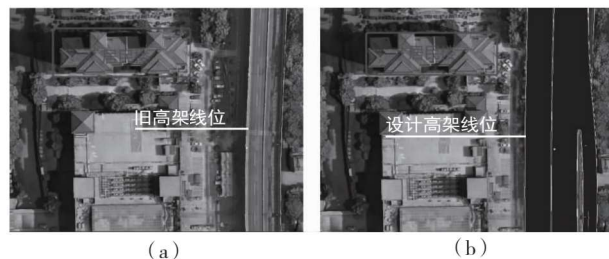


图3 设计高架整体西移

本次研究最不利情况下的日照情况,即采用冬至日(12月22日,太阳高度角最小,阴影范围最大)进行日照模拟分析。研究发现,在冬至日,设计高架对居民楼四层及以下住宅采光存在影响。四层的影响时间是7:06—8:08,三层的影响时间是7:06—8:54,二层的影响时间是7:06—9:21,一层的影响时间是7:06—9:53。具体模拟过程如图4所示。

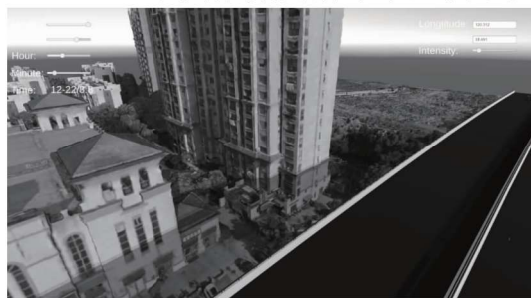


图4 冬至日设计高架8点8分日照模拟

另外,本文还研究了现状高架对研究建筑日照影响,模拟过程如图5所示。得出现状高架最高影响范围是3层,7:08—7:29对第三层有影响,7:08—7:59对第二层有影响,7:08—8:32对第一层有影响。

表1列出了在设计方案建成后和建成前的建筑日照受影响时间。从中可以看出,在方案建成后,一层至三层对影响楼层日照遮挡影响时间延长了80 min以上,四层时长增长了62 min。

从上述结果可以看出,一层采光受设计高架影



图 5 冬至日旧方案高架 7 点 59 分日照模拟

表 1 设计和现状高架对建筑日照影响分析

影响 楼层	设计方案高架		现状方案高架		时长增加 /min
	影响时间	时长 /min	影响时间	时长 /min	
一层	7:08—8:32	84	7:06—9:53	167	83
二层	7:08—7:59	51	7:06—9:21	135	84
三层	7:08—7:29	21	7:06—8:54	108	87
四层	—	0	7:06—8:08	62	62

响最大,在设计方案建成后,受到采光影响时间为167 min。根据《民用建筑设计统一标准》,冬至日当天满窗日照不小于1 h,即要求冬至日日照时间不低于1 h。模拟结果如图6、图7所示。



图 6 一层楼冬至日 9 点 53 分光照模拟

从图中可以看出,受影响的一层能收到光照的时间为 9:53—11:50,能接收到 2 h 的光照,满足标准



图 7 一层楼冬至日 11 点 50 分光照模拟

要求。因此,该设计方案对居民楼的采光影响在可接受范围内。

5 结 论

本文结合 BIM 和 GIS 模型真实还原日照模拟环境,基于 Unity 游戏引擎对光照进行精确模拟,可直观且准确地分析各个时间点高架桥梁对周边建筑的日照影响,为高架设计方案优化提供有效指导,填补了高架领域日照分析模拟的空白,具有较强的实际应用价值。

参考文献:

- [1] WONG K D, FAN Q D. Building information modelling (BIM) for sustainable building design[J]. Facilities, 2013, 31(3): 138-157.
- [2] LIM Y W. BIM-based sustainable building design process and decision-making[C]//2017 5th International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS). 2017.
- [3] 何波. BIM 建筑性能分析应用价值探讨[J]. 土木建筑工程信息技术, 2011(3): 63-71.
- [4] 王钊杉. BIM 在绿色建筑中的应用探讨[D]. 天津: 天津大学, 2016.
- [5] 范围, 朱珊, 刘阔. 长春市高层住宅日照分析研究[D]. 长春: 吉林大学, 2020.
- [6] 刘洁. 太阳辐射量与太阳高度角的关系[J]. 西部大开发: 中旬刊, 2011(11): 96.

(上接第 281 页)

- [7] 何旭辉, 吉晓宇, 敬海泉, 等. 高速铁路全封闭声屏障列车压力波和微气压波数值模拟研究[J]. 空气动力学学报, 2021, 39(5): 142-150.
- [8] 欧双美, 邹云峰, 黄永明, 等. 基于动模型的列车风作用下全封闭声屏障风荷载研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2023, 20(3): 781-789.
- [9] 杨斌, 马西章, 郭柯桢, 等. 全封闭声屏障断面尺寸对列车风压荷载影响规律的数值模拟[J]. 铁道科学与工程学报, 2020, 17(12): 3013-3020.
- [10] 李玉学, 陈玄烨. 列车运行致高速铁路全封闭声屏障气动荷载研究[J]. 铁道建筑, 2023, 63(6): 81-88.
- [11] 周朝晖, 郭安宁, 梅元贵, 等. 基于波叠加法高速列车单列通过隧道诱发压力波计算方法[J]. 空气动力学学报, 2015, 33(3): 375-383.
- [12] TB/T 3503.4—2018, 铁路应用 空气动力学 第 4 部分: 列车空气动力学性能数值仿真规范[S].